



Tuomas Pulli

**KUULOVAMMAISTEN APUVÄLINETEKNIikka NYT JA TULE-
VAISUUDESSA JA
LUOKKAHUONEEN ÄÄNITASON MITTAUSJÄRJESTELMÄN
ARKKITEHTUURI**

KUULOVAMMAISTEN APUVÄLINETEKNIikka NYT JA TULE- VAISUUDESSA JA LUOKKAHUONEEN ÄÄNITASON MITTAUS- JÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI

Tuomas Pulli
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, Laite- ja Tuotesuunnittelu

Tekijä: Tuomas Pulli

Opinnäytetyön nimi: Kuulovammaisten apuvälinetekniikka nyt ja tulevaisuudessa ja Luokkahuoneen äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuuri

Työn ohjaaja: Veijo Väisänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2017 Sivumäärä: 60

Opinnäytetyö koostuu kahdesta erillisestä opinnäytetyöstä. Opinnäytetyöt eivät suoraan liity toisiinsa, mutta molemmat käsittelevät kuuntelun apuvälineitä. Kuuntelun apuvälineet ja kuunteluympäristöt ovat mielenkiintoisia aihealueita, koska perheeseen kuuluu kuulovammainen lapsi ja kuulon apuvälineet ovat osa arkea. Ensimmäinen osa on laajuudeltaan 5 opintopistettä ja jälkimmäinen osa on laajuudeltaan 10 opintopistettä. Osaopinnäytetyön tarkoituksena oli jakaa työtaakkaa useammalle opintovuodelle opintojen sujuvoittamiseksi.

Ensimmäisessä osassa käsitellään kuuloaistia, korvan anatomiaa ja ääntä sekä kuulolaitetekniikan historiaa, nykyhetkeä ja tulevaisuutta. Ensimmäisen osan jälkeen ymmärrän paremmin kuulovammoja, kuulonapuvälineiden kehitystä historiasta nykyhetkeen ja mahdollisia tulevaisuuden kuulon hoitokeinoja.

Toisessa osassa suunniteltiin luokkahuoneeseen asennettavan äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuuri. Toinen osa käsittelee melua ja melun terveystaikutuksia. Arkkitehtuuri sisältää standardin mukaisen melunmittauksen ja laitteistoon tarvittavat pääkomponentit sekä käyttöliittymän havainnekuvat.

Toisen osan tuloksena syntyi luokkahuoneeseen asennettavan äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuurin pääpiirteet, josta voidaan lähteä kehittämään tuotetta. Lopullinen tuote vaatii tarkempaa perehtymistä olemassa oleviin äänitason mittauslaitteisiin ja sovelluksiin. Tällöin saadaan tarkempi kuva siitä, voisiko näitä hyödyntää järjestelmässä, ja mitä joudutaan suunnittelemaan itse alusta alkaen. Töissä käytettiin lähteenä alan julkaisuja, tieteellisiä tutkimuksia, lakitekstejä ja standardeja.

Asiasanat: kuulolaitetekniikka, kuulo, melu, melunmittaus, äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuuri

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	5
2 OPINNÄYTETYÖN ENSIMMÄISEN OSAN ESITTELY	6
3 OPINNÄYTETYÖN TOISEN OSAN ESITTELY	7
4 YHTEENVETO	8
LIITTEET	9

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta, joista toinen on tehty keväällä 2016 ja toinen syksyllä 2017. Osaopinnäytetyön tarkoituksena oli jakaa työtaakkaa useammalle vuodelle. Opinnäytetyöt eivät varsinaisesti liity toisiinsa, mutta ne tukevat toisiaan sisällöllisesti. Opinnäytetyöt on tehty itsenäisesti omasta toimeksiannosta. Valitsin kyseiset aiheet, koska kuulo, kuunteluympäristö(t) ja kuulon apuvälinetekniikka ovat mielenkiintoisia aiheita.

Ensimmäinen osa käsittelee kuuloa, ääntä, korvan rakennetta ja kuulovammoja. Lisäksi se käsittelee kuulon apuvälinetekniikan historiaa, nykyhetken laitteistoa sekä tulevaisuuden kuulonapuvälineitä ja mahdollisia hoitomuotoja kuulovammaan.

Opinnäytetyön toisen osan tavoitteena oli tutustua melun mittaukseen ja selvittää millaisia haittoja melu aiheuttaa ihmisessä, ja miten melua voisi vähentää. Lisäksi tavoitteena oli suunnitella luokkahuoneeseen asennettava äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuuri.

2 OPINNÄYTETYÖN ENSIMMÄISEN OSAN ESITTELY

Ensimmäinen osa valmistui keväällä 2016 (liite1). Opinnäytetyön ohjaajana toimi Riitta Rontu. Ensimmäistä osaa tehdessä opin paljon tiedon hakemisesta luotettavista lähteistä sekä merkitsemään lähteet oikeaoppisesti.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutustua kuulovammaisille suunniteltuihin apuväline-tekniikoihin ja -laitteisiin, jotka helpottavat kuulemistä. Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä nykyhetken että tulevaisuuden apuvälinetekniikoita. Apulaitteilla on tarkoitus luoda esteetön ympäristö. Esteettömyydellä tarkoitetaan ympäristöä, jonka suunnittelussa on huomioitu erityisryhmät, tässä tapauksessa kuulovammaiset henkilöt. Esteettömässä ympäristössä pyritään siihen, että kaikki voivat toimia tasavertaisesti.

3 OPINNÄYTETYÖN TOISEN OSAN ESITTELY

Opinnäytetyö valmistui joulukuussa 2017 (liite 2). Opinnäytetyön valvojana toimi Veijo Väisänen. Opinnäytetyön toinen osa oli huomattavasti helpompi kuin ensimmäinen osa, koska ensimmäisessä osassa opittu kirjoitustapa helpotti kirjoittamista. Lisäksi aihe oli hautunut jo pitkään mielessä ja kesällä saatu työkokemus laitearkkitehtuurin suunnittelusta helpotti työssä etenemistä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella arkkitehtuuri luokkahuoneeseen asennettavalle äänitason mittausjärjestelmälle, joka täyttäisi äänitason mittauksen vaatimat standardit. Järjestelmä varoittaisi liiallisesta melusta ja kannustaisi työskentelemään hiljempaa. Hyvä kuunteluympäristö on tärkeä sekä oppimisen että työssäjaksamisen kannalta, koska melulla on suuri vaikutus ihmisen kognitiiviseen oppimiseen ja terveyteen.

Työntuloksena syntyi äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuurin pääpiirteet, josta tuotetta voidaan lähteä jatkokehittämään.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyöt kehittivät kirjoitustaitoa, tiedonhakua, lähdekriittisyyttä, alan teknisten julkaisuiden lukemista ja ymmärtämistä sekä aikatauluttamista töiden eri vaiheissa. Lisäksi sain kattavasti uutta tietoa kuulovammoista, korvan toiminnasta, melun terveysvaikutuksista ihmiseen sekä työperäisen melun mittaukseen käytettävästä standardista. Tiedosta on varmasti hyötyä tulevaisuudessa. Opinnäytetyön jälkimmäisen osan jatkokehityksen kannalta opinnäytetyö antaa viitteitä tarvittavaan laitteistoon ja helpottaa tuotteen suunnittelussa.

Osissa tehtävä opinnäytetyö on hyvä, jos työkuormaa haluaa jakaa useammalle vuodelle. Suurempien aihealueiden tutkimiseen ja suunnitteluun soveltuu mielestäni paremmin yhdessä osassa tehtävä opinnäytetyö, koska aiheeseen pystyy perehtymään syvällisemmin. Tekisin seuraavan opinnäytetyön yhdessä osassa.

LIITTEET

Liite 1 Kuulovammaisten apuvälinetekniikka nyt ja tulevaisuudessa

Liite 2 Luokkahuoneen äänitason mittausjärjestelmän arkkitehtuuri

Tuomas Pulli

**KUULOVAMMAISTEN APUVÄLINETEKNIikka NYT JA TULE-
VAISUUDESSA**

KUULOVAMMAISTEN APUVÄLINETEKNIikka NYT JA TULE- VAISUUDESSA

Tuomas Pulli
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
2 KUULO	5
2.1 Kuuloaisti	5
2.2 Korvan anatomia	6
2.3 Kuulovamma	7
3 ÄÄNI	9
3.1 Äänen paine	9
3.2 Äänenkorkeus	10
4 SÄHKÖMAGNEETTINEN INDUKTIO	11
5 KUULON APUVÄLINEIDEN HISTORIA	12
6 KUULON APUVÄLINEET	15
6.1 Kuulokoje	15
6.2 FM-radiolähetin	17
6.3 Induktiosilmukka	17
6.4 Huomio- ja hälytinjärjestelmät	17
7 KUULON APUVÄLINEET TULEVAISUUDESSA	19
8 LOPPUSANA	20
LÄHTEET	21

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tavoitteena on tutustua kuulovammaisille suunniteltuihin apuvälinetekniikoihin ja -laitteisiin, jotka helpottavat kuulemistä. Tutkimuksessa tarkastellaan sekä nykyhetken että tulevaisuuden apuvälinetekniikoita. Apulaitteilla on tarkoitus luoda esteetön ympäristö. Esteettömyydellä tarkoitetaan ympäristöä, jonka suunnittelussa on huomioitu erityisryhmät, tässä tapauksessa kuulovammaiset henkilöt. Esteettömässä ympäristössä kaikki voivat toimia tasavertaisesti. (1.)

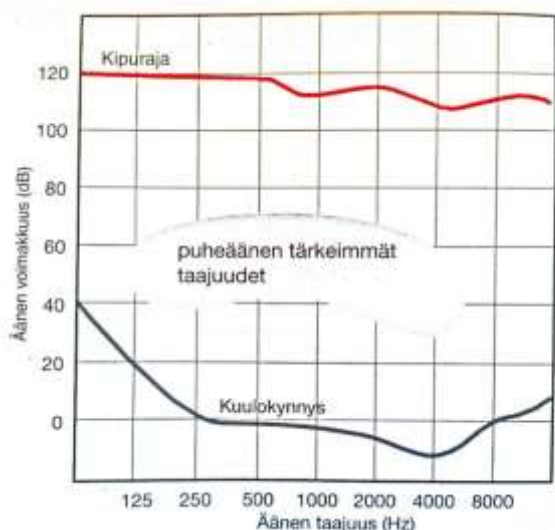
Valitsin kyseisen aiheen tutkimukseni kohteeksi, koska perheessämme on kuulovammainen henkilö ja kuulonapuvälineet ovat osa arkipäiväistä elämääni. Tämän aihealueen laitetekniikka on kiinnostavaa ja haastavaa, koska kyseessä on yleensä pieni laite, jonka täytyy olla hyvin suorituskyyinen signaalin käsittelyssä.

2 KUULO

Kuulojärjestelmämme kehittyä jö sikiövaiheessa, jolloin kuulohermosto ja sisäkorva saavat muotonsa. Kuuloradan hermostollinen kehittyminen jatkuu vielä syntymän jälkeenkin. Kuulo harjaantuu käytännössä aina aikuisikään asti, vaikka kuulosolujen rappeutuminen alkaa jo kymmenen ikävuoden jälkeen. Toimiva kuulo edellyttää että, hermorata korvasta aivoihin on kunnossa, jolloin ääniärsykkeet pääsevät aivoihin. Kuulojärjestelmämme kehittyä kiivaimmin varhaisvuosina ja heikentyy iän karttuessa. (1.)

2.1 Kuuloaisti

Kuuloaisti on yhtä kuin kyky havainnoida ympärillämme olevaa ääntä. Ihmisillä on kaksi korvaa, jotka välittävät ääniaallot aivoille. Ihminen tulkitsee äänet havaintomaailman perusteella yhdistäen äänet muistikuviin ja opittuun tietoon. (3.) Korva on erittäin herkkä reagoimaan hyvin heikkoihinkin ääniin, jopa ilmamolekyylien törmäyksestä aiheutuva kohina voidaan kuulla. Kuulo kestää myös kotalaisen hyvin lyhytaikaista voimakasta melua. Ihminen pystyy kuulemaan äänet parhaiten 20–20000Hz:n taajuusalueella, joka on ihmisen kuuloalue (kuva 1). (2, s. 299)

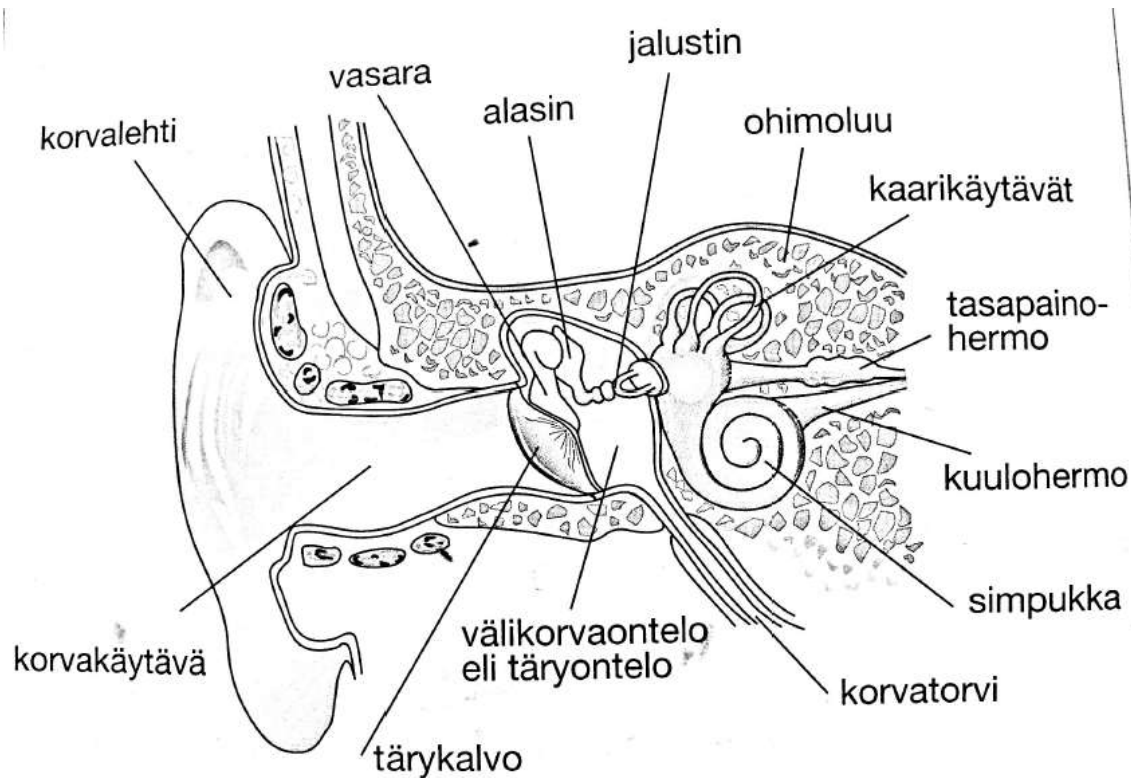


KUVA 1. Ihmisen kuuloalue (2, s. 306)

Äänellä on molempiin korviin eripituinen matka, jolloin korvien välinen äänen aikaero voidaan havaita. Tämä muodostaa ihmisen suuntakuulon. Korkeiden äänien tulosuunta voidaan arvioida hyvin tarkasti lyhyen aallonpituuden ansiosta. Matalien äänien tulosuuntaa ei pystytä havaitsemaan tarkasti. Äänen tulosuunnan arvioimisen tukena on myös erityisesti näköaisti, koska äänen oletettu tulosuunta on siellä, mistä se näköhavainnon perusteelta tulee. (3.)

2.2 Korvan anatomia

Korvan pääkomponentit jaetaan *ulko-*, *väli-* ja *sisäkorvaan* (kuva 2.) Ulkokorvaan kuuluu *korvalehti*, joka kerää ääniaaltoja *korvakäytävään*. Välikorvassa sijaitsee *tärykalvo*, jonka tehtävänä on muuttaa ääniaallot mekaaniseksi liikkeeksi ja siirtää liike *kuuloluille*. Kuuloluiden tehtävänä on voimistaa ja vaimentaa tärykalvon välittämät värähdykset sisäkorvalle. Kuuloluita ovat *vasara*, *alasin* ja *jalkustin*. Välikorva toimiikin niin sanottuna vahvistimena. Välikorvasta johtaa korvatorvi suoraan nieluun, jonka kautta poistuu tärykalvon sinne välittämä paine. Sisäkorvassa sijaitsee *simpukka*, joka sisältää nestettä ja varsinaiset kuuloaistisolut. (4.) Sisäkorvassa sijaitsee myös kuuloreseptorien lisäksi tasapainoelimen asento- ja liikereseptorit, joita ovat *kaarikäytävä* sekä *soikea* ja *pyöreä rakkula*. (2, s. 303)



KUVA 2. Korvan rakenne (2, s. 302)

2.3 Kuulovamma

Kuulovamman voivat aiheuttaa erilaiset korvan, kuulohermon, ja keskushermoston sairaudet ja vauriot. Johtumis- ja sisäkorvaperäiset kuulovammat ovat yleisimpiä lapsilla. (5.)

Konduktiivinen eli johtumis- tai välikorvaperäinen vamma

Konduktiivisessa kuulovammassa ääni ei pääse johtumaan sisäkorvaan korvakäytävän epämuodostumisen takia tai kuuloluiden tai tärykalvon rajoittuneen toiminnan seurauksena. Tästä johtuen ääni ei pääse vahvistumaan ja henkilö kuulee puhetta huonosti. (5.)

Sensorineuraalinen eli sisäkorvaperäinen vamma

Sensorineuraalinen kuulovamma johtuu sisäkorvan simpukan aistinsolujen ja niiden hermoratojen toimintahäiriöstä. Aistinsoluja simpukassa on 25 000 kappaletta hermoratoineen. Jos aistinsolujen toiminnassa esiintyy osittaistakin häiriötä, niin tiedonkulku aivoihin ei ole täydellistä. Tämä voi aiheuttaa sen, että henkilö ei kuule kaikkia äänteitä edes kuulokojeen avulla. (5.)

Sekatyyppinen kuulovamma

Sekatyyppinen kuulovamma on edellä mainittujen vammojen yhdistelmä. (5.)

Sentraalinen kuulovamma

Keskushermostoperäinen vamma. Vika esiintyy joko aivorungolla tai aivokuoressa ja se on vaikea todeta kuulontutkimuksissa. Sentraalinen kuulovamma esiintyy kuullun ymmärtämisen vaikeutena. (5.)

3 ÄÄNI

Ääni on kuultavissa olevaa painevärähtelyä, joka etenee aaltoliikkeenä. Ääniaallot liikkuvat ainoastaan väliaineen avulla. Väliaine voi olla nestettä, kaasua, plasmaa tai kiinteää ainetta. Tyhjiössä ääni ei etene. Kaasuissa ja nesteissä ääni etenee ainoastaan pitkittäisenä aaltoliikkeenä. Kiinteissä aineissa ääni voi edetä poikittaissaaltoinakin. (6.) Painevärähdysten lukumäärää ajanyksikössä (1/s) kutsutaan taajuudeksi, jonka mittayksikkö on hertsi (Hz)

3.1 Äänen paine

Äänenpaine on paineen vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Äänenpainetasoa kuvataan desibeliasteikolla, jonka yksikkö on desibeli (dB). Äänenpainetta mitataan äänenpainemittareilla. (9.) Äänenpainetaso voidaan myös laskea kaavalla (Kaava 1), jossa $L_p = dB$ on äänenpainetaso, I = äänen intensiteetti ja I_0 ja P_0 = vertailuääni, joka yleensä on ihmisen kuulokynnystä vastaava arvo. Äänen intensiteetti $I [W/m^2]$ saadaan kaavalla (Kaava 2), jossa p = tehollinen äänen paine ja ρ = ilman tiheys (8, s. 130)

KAAVA 1

$$L_p = 10 \lg \frac{I}{I_0} dB = 20 \lg \frac{p}{p_0} dB$$

KAAVA 2

$$I = 2\pi^2 f^2 \rho v \hat{y}^2 \frac{p^2}{\rho v} = \frac{p^2}{Z}$$

3.2 Äänenkorkeus

Äänen korkeuden aistiminen on monimutkainen prosessi, koska äänenkorkeus riippuu eritaajuisien äänten yhteisvaikutuksesta. Yleisimmin äänenkorkeutta mitataan *Mel-asteikolla*. Äänen korkeus on *Mel-asteikolla* mitattuna suoraan verrannollinen pienillä taajuuksilla taajuuteen nähden (Hz-arvoon) ja logaritmisesti verrannollinen suurilla taajuuksilla taajuuteen nähden (Kaava 3). Tekniikassa yleisimmin käytetty asteikko on *Bark-asteikko*. *Bark-asteikko* liittyy kriittisen kaistan käsitteeseen, jolla tarkoitetaan korvan basilaarikalvon yhtenäistä taajuusanalyysialuetta. Kuulo ei kykene erottelemaan kaikkia äänen taajuuskomponentteja toisistaan, esimerkiksi laajakaistaisessa äänessä kuulo ei pysty erottelemaan kaikkia osääniä toisistaan vaan tulkitsee ne yhtenä äänikokonaisuutena. Kriittiseksi kaistaksi kutsutaan jonkin keskitaajuuden ympäristössä olevaa taajuuskaistaa, jonka kuulo käsittelee edellä mainitulla tavalla. (11.)

Kriittisen kaistan leveys pienillä taajuuksilla (alle 500 Hz) on noin 100 Hz ja suurilla (yli 500 Hz) taajuuksilla se on noin 1/3 oktaavia kapeampi kuin keskitaajuus. *Bark-asteikko* muodostetaan asettamalla kriittisiä kaistoja koko ihmisen kuuloalueelle (20–20000 Hz) vieritysten yhteensä 24 kappaletta. (Kaava 4). (11.)

KAAVA 3

$$f_{Mel} = 2595 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right)$$

KAAVA 4

$$\frac{z}{Bark} \approx 13 \arctan \left(\frac{0,76f}{kHz} \right) + 3,5 \arctan \left(\frac{f}{7,5kHz} \right)^2$$

4 SÄHKÖMAGNEETTINEN INDUKTIO

Sähkömagneettista induktiota käytetään tuottamaan sähköä magneettikenttää muuttamalla. Sähkö indusoituu johtimeen, kun magneettikenttää muutetaan. Tämän seurauksena johtimeen syntyy sähkövirta, joka muodostaa magneettikentän johtimen ympärille. Magneettikenttä voidaan muodostaa käämin tai tavallisen magneetin avulla. Käämin johdinsilmukoiden läpi kulkeva magneettivuo, liikuttaa käämin elektrodeja, jotka synnyttävät sähkövirran. Sähkövirran seurauksena johdin muodostaa magneettikentän, joka pyrkii vastustamaan sähkövirran muutosta. Ilmiöstä käytetään nimitystä induktanssi (H). Induktanssi lasketaan *Faradayn* induktiolain avulla (kaava 5), missä E = Indusoitunut jännite, N = käämin johdinsilmukoiden lukumäärä ja $\frac{d\Phi}{dt}$ = vuon muutosnopeus. (10, Luku 4.)

KAAVA 5

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

5 KUULON APUVÄLINEIDEN HISTORIA

Kuulon apuvälineitä on ollut saatavilla jo pitkään. Ensimmäinen tiedossa oleva apuväline on kuulotorvi, joka on peräisin 1800-luvulta. Kuulotorvea pidettiin korvan suulla. Kuulotorven tehtävänä oli yksinkertaisesti kerätä ympäröivää ääntä ja johtaa se korvakäytävään. Ensimmäinen elektroninen kuulokoje suunniteltiin jo 1890-luvulla. (15.) Kuulokojetta kutsuttiin nimellä *Akouphone* (kuva 3.)

Akouphonen suunnittelijana oli amerikkalainen elektroniikkainsinööri Miller Reese Hutchinson. Kuulokojeen toiminta perustui hiilimikrofoniin, joka oli suunniteltu ensimmäisiin puhelimiin. Hiilimikrofonin tehtävänä oli vahvistaa analogista signaalia ja välittää vahvistettu signaali kaiuttimelta korvaan. (16.)



KUVA 3. *Akouphone* (15)

1920-luvulla kehitettiin ensimmäinen elektroniputki-kuulokoje, joka sai nimeksi *Vactuphone*. Laitteen suunnittelija oli Earl C. Hanson. (17.) Toiminta perustui analogisen äänen muuttamiseksi elektroniseksi signaaliksi, joka vahvistettiin ja välitettiin eteenpäin. *Vactuphone* (kuva 4) oli huomattavasti tehokkaampi kuin hiilimikrofoni, mutta vaati kaksi paristoa, jotka olivat hyvin kalliita siihen aikaan. (15.)



KUVA 4. Vactuphone (23)

1950-luvulla kuulokoje tekniikassa otettiin suuri harppaus, kun ensimmäiset korvantauskojeet kehitettiin (kuva 5). Vuonna 1950 ensimmäinen transistori kehitettiin *Bell Laboratorios*sa korvaamaan helposti särkyvän elektroniputken. Vuonna 1951 ensimmäiset massatuotannot aloitettiin, mutta ne heikkenivät nopeasti teknisten kustannusten vuoksi. Vuonna 1952 *Zenith* kehitti kosteudenkestävän transistorin ja vuonna 1954 ensimmäiset silikoniset lähettimet mahdollistivat huomattavasti tehokkaampia kuulokojeita. (16.)



KUVA 5. Korvantauskoje 1960-luvulta (24)

1970-luvulle tultaessa kuulokojetekniikka harppasi uuden askeleen, kun mikroprosessoritekniikka valtasi alaa. Tämä mahdollisti entistä tehokkaampia ja pienempiä kuulokojeita. Näitä kuulokojeita kutsuttiin hybridikuulokojeksi, koska mikropiireissä yhdistyivät analoginen ja digitaalinen tekniikka. Vuonna 1982 esiteltiin ensimmäinen digitaalinen signaalinprosessointipiiri (*DSP*), joka otti nopeasti paikan kuulokojeteollisuudessa. Vuonna 1988 esiteltiinkin ensimmäinen *DSP-kuulokoje*. 1990-luvun puolessavälissä julkaistiin ensimmäinen täysin digitaalinen *korvantauskoje* ja *korvakäytäväkoje*, joissa laskentateho oli 40 miljoonaa käskyä sekunnissa. (16.)

6 KUULON APUVÄLINEET

Kuulon apuvälineillä tarkoitetaan laitetta, joka on suunniteltu helpottamaan kuulovammaisen elämää ja asiointia. Kuulovammaisen kotona asuminen helpottuu ja turvallisuus paranee, sekä kommunikointi sukulaisten, tuttavien ja muiden osapuolten kanssa helpottuu. (12.)

6.1 Kuulokoje

Kuulokoje auttaa hyödyntämään jäljellä olevaa kuuloa ja täten helpottaa arkielämää. Kuulokojeita on tällä hetkellä markkinoilla todella suuri määrä värikkäistä todella pienikokoisiin. (13.) Kuulokojeen toiminta perustuu mikrofoniin, joka vastaanottaa äänisignaalin digitaaliseen vahvistimeen, joka vahvistaa signaalin ja käsittelee sen ohjelmoinnin mukaisesti, minkä jälkeen digitaalinen signaali muutetaan takaisin ääneksi ja välitetään kaiuttimesta korvaan. Kuulokojeet ohjelmoidaan sen mukaan, mikä kuulovammaisen kuulon alenema on. Tarkoitus ei ole vahvistaa kaikkia ääniä, vain ainoastaan hyödyllisimmät äänet, kuten puhe, sekä vaimentaa mahdollisia häiriöääniä. Digitaalisella signaalin käsittelyllä pyritään tuottamaan mahdollisimman puhdas ja luonnollinen ääni ja miellyttävämpi käyttökokemus. (14.)

Korvantauskojeet ovat yleisimmin käytössä oleva malli. Koje asetetaan korvanlehdien taakse ja korvakappale korvakäytävään. Osat yhdistetään letkulla toisiinsa, jota pitkin ääni kantautuu korvaan. Korvakappale rakennetaan aina yksilön korvamallin mukaan. (13.)

Korvakäytäväkoje asetetaan nimensä veroisesti korvakäytävään ja se valmistetaan korvakäytävästä otetun muotin perusteella. Korvakäytäväkoje on hyvin pienikokoinen ja huomaamaton. (13.)

Taskukoje on kuulokoje, jota pidetään taskussa tai kaulassa roikkuvassa pussissa. Ääni johdetaan korvaan johdon ja korvakappaleen avulla. Tämä malli ei ole kovin yleisesti käytössä. (13.)

Kommunikaattori on vahvistinlaite, jossa on kevyet kuulokkeet. Laite sopii henkilölle, joka sairauden tai muun syyn vuoksi ei voi käyttää kuulokojetta. (13.)

BAHA-koje on *luujohtokuulokoje*, joka tulee sanoista *bone anchored hearing aid*. Luujohtokuulokojeessa ääni siirtyy sisäkorvaan luun kautta johtamalla. Baha-kojeessa on mikroprosessori, joka poimii ääniaallot, jotka muutetaan digitaalisiksi, suodatetaan, vahvistetaan ja muutetaan värähtelyksi. Värähtely välitetään suoraan sisäkorvaan. (18.)

Sisäkorvaistute on kuulokoje, joka asennetaan aina leikkauksella. Kuulokoje koostuu istutuksesta ja puheprosessorista (kuva 6). Istute kiinnitetään henkilön korvan takana olevaan luuhun, josta porataan pieni reikä välikorvaan saakka. Välikorvan kautta viedään pieni elektrodi korvan simpukkaan. (19.) Prosessori muuttaa äänen sähköiseksi signaaliksi, joka välitetään elektrodia pitkin kuulohermoon. Sähköinen signaali stimuloi taajuuskohtaisesti kuulohermoa, joka vastaanottaa sähköiset impulssit ja välittää ne ohimolohkon kuuloaivokuoreen. Kuuloaivokuori tulkitsee signaalin äänenä. Istutteessa on magneetti, jolla ulkoinen puheprosessori kiinnitetään paikoilleen. (20.)



KUVA 6. Sisäkorvaistute (25)

6.2 FM-radiolähetin

FM-radiolähetin on tarkoitettu parantamaan kuunteluolosuhteita tilanteissa, joissa pelkkä kuulokoje ei riitä. Laite koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta. Ääni lähetetään lähettimestä radiosignaalilla vastaanottimeen. Kuulokojeisiin asennetaan erilliset vastaanottilisäosat, joiden avulla radiosignaali välittyy suoraan kuulokojeeseen. Tämä helpottaa kuulemista etenkin tilanteissa, joissa puhujan ja kuulijan välinen etäisyys on pitkä. (27.)

6.3 Induktiosilmukka

Induktiosilmukan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Ääni siirtyy kuulijalle magneettikentän avulla, jolloin ääni on puhdas eikä häiriöääniä pääse syntymään. Induktiosilmukka voidaan asentaa kiinteästi tilaan tai tuoda erillisellä kannettavalla laitteistolla. Induktiosilmukajärjestelmä koostuu induktiosilmukajohdosta, induktiosilmukavahvistimesta sekä yhdestä tai useammasta mikrofonista. Monissa kaupungin tai kunnan virastoissa ja julkisissa tiloissa on käytössä induktiosilmukajärjestelmä. Jos järjestelmä on käytössä, tämä on ilmoitettu symbolilla (kuva 7). (21.)



KUVA 7. Induktiosilmukkaa kuvaava symboli (26)

6.4 Huomio- ja hälytínjärjestelmät

Kuulovammaisille on kehitetty monenlaisia apuvälineitä ja hälytysjärjestelmiä erilaisten hälytysäänten havaitsemiseksi. Yleisimmin hälytys havaitaan äänen, valon, värinän tai näiden yhdistelmien avulla. Hälytysjärjestelmät ovat yleisimmin käytössä ovikelloissa, palohälyttimissä, herätyskelloissa ja puhelimen soudessa. Hälytínjärjestelmät ovat yleensä käytössä henkilön omassa kodissa kiinteästi

asennettuna. Esimerkiksi palohälyttimen soidessa hälytinääntä voidaan tehostaa huoneistoon asennettavilla vilkkuvilla valoilla, äänenvoimakkuutta lisäämällä tai tyynyn alle sijoitettavalla tärisevällä hälyttimellä. Samaa järjestelmää voidaan hyödyntää kaikissa edellä mainituissa tapauksissa. (21.)

7 KUULON APUVÄLINEET TULEVAISUUDESSA

Lähitulevaisuudessa kuulokoje tulee olemaan huomaamattomampi ja tehokkaampi kuin tämänhetkiset kuulokojeet. Seuraavan sukupolven kuulokojeissa tullaan mahdollisesti käyttämään lasertekniikkaa äänen siirrossa. Laserkuulokoje voisi toimia siten, että äänen muuntaja asennetaan suoraan tärykalvolle, johon lähetetään lasersignaali korvan taakse asennetusta ulkoisesta laitteesta. Tärykalvolle asennettu äänen muunnin muuntaa signaalin värähtelyksi, josta ääni muodostuu. Tällaisen järjestelmän etuna on paljon laajempi taajuusalue, kuin tavallisissa kuulokojeissa. (16.)

Seuraavan kymmenen vuoden aikana kuulokojeet tulevat kehittymään niin, että ne on istutettu korvan sisään virtalähdettä myöten. Virta tullaan saamaan induktiivisella latauksella, eli paristot saadaan ladattua muuttamalla ihmisen kehon energia sähköksi. (16.)

Kauempana tulevaisuudessa kuuloa voidaan hoitaa kantasoluhoidolla, jossa esimerkiksi uusia korvan karvasoluja tai kuulohermoja voidaan korjata ja kasvattaa. Uusia kantasoluja voidaan kuljettaa toisten solujen avulla niiden oikeille paikoille, missä ne kasvattavat uusia soluja tai korjaavat vaurioituneita soluja.

Tämä menetelmä on vasta teoriassa mahdollista. Tutkijat yrittävät selvittää turvallista tapaa muuttaa solujen käyttäytymistä. *Sheffieldin* yliopistossa on testattu gerbiileille kantasoluruisketta korvaan, joka paransi kuulokykyä noin 45 %. (16.)

8 LOPPUSANA

Tutkimuksessa selvisi, että kuulo on hyvin tärkeä osa ihmisen kommunikointi- ja oppimiskykyä sekä selviytymiskykyä arjen eri askareissa. Kuulovammaiset on otettu hyvin huomioon yhteiskunnassamme. Julkisiin tiloihin on asennettu kattavasti induktiosilmukkoja esteettömän elämän mahdollistamiseksi. Kuuloa onkin yritetty avustaa jo noin kaksisataa vuotta ja tekniikka on kehittynyt huimasti ja kehittyy edelleen. Vaikka nykyinen korvantauskoje on näyttänyt lähes samalta melkein 50 vuotta, on sen sisäinen tekniikka täysin eri nykypäivänä. Kuulokojeita ja kuulon apuvälineitä on markkinoilla lukematon määrä. Lähes jokaisella kuulokojevalmistajalla on oma versio kuulon apuvälineistä.

Tulevaisuudessa nanoteknologia ja bioelektroniikka tulevat mullistamaan kuulokojemarkkinat ihmisiin istutettujen sirujen ja sensoreiden avulla. Myös ihmisen kantasolujen ohjaaminen kohteeseen johon halutaan kasvattaa uusia tai korjata vaurioituneita soluja voisi olla mahdollista. Mielenkiinnolla odotan mitä lähitulevaisuus tuo tullessaan kuulokojetekniikan osalta sekä tuleeko Internet of Things vaikuttamaan myös kuulokojetekniikassa, jos ja kun tämä valtaa markkinat.

LÄHTEET

1. Kuulo. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/> Hakupäivä 11.2.2016.
2. Hiltunen Erkki, Holmberg Peter, Kaikkonen Matti, Linblom-Ylänne Sari, Nienstedt Walter, Wähälä Kristiina. 2006 Galenos Ihmiselimitys kohtaa ympäristön: painos 6.-7
3. Kuuloaisti. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kuuloaisti> Hakupäivä 11.2.2016
4. Kuulo. Peda.net. Saatavissa: <https://peda.net/kannus/jvk/oppiaineet2/biologia2/9-lk-biologia/ihminen/kuulo> Hakupäivä 11.2.2016
5. Erilaiset kuulovammat. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/huonokuuloisuus/erilaiset_kuulovammat/ : Hakupäivä 25.2.2016
6. Ääni. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/%C3%84%C3%A4ni> Hakupäivä 25.2.2016
7. Musiikin teoriaa webissä. Mute. Saatavissa: <http://www15.uta.fi/ar-kisto/mustut/mute/aai01.htm> Hakupäivä 25.2.2016
8. Mäkelä Mikko, Soinen Lauri. Tuomola Seppo. Öistämö Juhani. 2000. Tekniikan kaavasto. Amk-kustannus Tammertekniikka. Painos 12. Oy
9. Akustiikan perusteita. Piisami.net Saatavissa: <http://piisami.net/tieto/akustiikka.htm> Hakupäivä 2.3.2016
10. Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka. 2002. Momentti 2. Insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.
11. Karjalainen, Matti. 2000. Hieman akustiikkaa. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/sgn/arg/akusem/akuintro.pdf> Hakupäivä 24.3.2016
12. Kuulokoje. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuulokoje/> Hakupäivä 24.3.2016
13. Kuulokojemallit. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuulokoje/kuulokojemallit/> Hakupäivä 24.3.2016
14. Kuulokojeen käyttö. Kuulohansa Oy. Saatavissa: http://www.kuulohansa.fi/kuulokojeen_kaytto.htm Hakupäivä 24.3.2016

15. The Road to the First Electric Portable Hearing Aid....and Beyond. Hearing Health & Technology Matters. Saatavissa: <http://hearinghealthmatters.org/hearinginternational/2015/the-road-to-the-first-electric-portable-hearing-aid-and-beyond/> Hakupäivä 7.4.2016
16. History and future of hearing aids. Amplifon Co. Saatavissa: <http://www.amplifon.co.uk/hearing-aids/hearing-aids-explained/history-and-future-of-hearing-aids/> Hakupäivä 7.4.2016
17. Vactuphone Vacuum Tube Hearing Aid. Hearing aid museum. Saatavissa: <http://www.hearingaidmuseum.com/gallery/Vacuum%20Tube/OtherMakes/info/vactuphone.htm> Hakupäivä 7.4.2016
18. Luujohtokuulokoje. Kuuloavain. Saatavissa: <http://kuuloavain.fi/info/kuulon-kuntoutus/luujohtokuulokoje/> Hakupäivä 14.4.2016
19. Sisäkorvaistuteleikkaus. Kuuloavain. Saatavissa: <http://kuuloavain.fi/info/kuulon-kuntoutus/sisakorvaistute/sisakorvaistuteleikkaus/> Hakupäivä 14.4.2016
20. Jero Jussi, Kentala, Erna. 2007. Lasten korva-, nenä- ja kurkkutaudit. Sisäkorvaistutteen toiminta. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim. Saatavissa: <http://duodecimlehti.fi/web/guest/haku> Hakupäivä 21.4.2016
21. Induktiosilmukka. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/induktiosilmukka/> Hakupäivä 14.4.2016
22. Hälytys ja varoitusaänet. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: [http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/halytys- ja varoitusaanet/](http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/halytys-ja_varoitusaanet/) Hakupäivä 21.4.2016
23. An overview into 1920. Olympic Year 1920 Saatavissa: <https://olympicyear1920.wordpress.com/2013/04/02/for-science/> Hakupäivä 14.4.2016
24. Zenith Diplomat transistor hearing aid. Mercenary. Saatavissa: <http://microphonium.blogspot.fi/2007/11/zenith-diplomat-transistor-hearing-aid.html%20> Hakupäivä 14.4.2016
25. Sisäkorvaistuteleikkaus. Kuuloavain. Saatavissa: <http://kuuloavain.fi/info/kuulon-kuntoutus/sisakorvaistute/sisakorvaistuteleikkaus> Hakupäivä 14.4.2016

26. Induktiosilmukka. Kuuloliitto Ry. Saatavissa: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/induktiosilmukka/> Hakupäivä 14.4.2016
27. FM-laite. Kuuloavain. Saatavissa: <http://kuuloavain.fi/info/kuulon-kuntoutus/apuvalineet/fm-laite/> Hakupäivä 17.5.2016

Tuomas Pulli

**LUOKKAHUONEEN ÄÄNITASON MITTAUSJÄRJESTELMÄN
ARKKITEHTUURI**

LUOKKAHUONEEN ÄÄNITASON MITTAUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI

Tuomas Pulli
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

SISÄLLYS

SISÄLLYS	3
1 JOHDANTO	4
2 TERMIEN MÄÄRITYKSIÄ	5
3 MELU JA MELUHAITAT	7
3.1 Meluasetus	7
3.2 Melun haitat	8
3.2.1 Melun haitat oppilailla	9
3.2.2 Melun haitat opettajilla	9
4 KUUNTELUYMPÄRISTÖ	11
4.1 Akustiikka ja kaikuisuus	11
4.2 Opetustilan kuuntelu ympäristö	11
5 TYÖPERÄISEN MELUN MITTAAMINEN	13
5.1 Mittausmenetelmä	13
5.1.1 Työn analysointi	13
5.1.2 Mittausstrategian valinta	14
5.1.3 Mittaukset	14
5.1.4 Virheiden käsittely ja epävarmuustekijät	14
5.1.5 Tulosten ja epävarmuustekijöiden laskeminen ja esittely	14
6 ÄÄNITASON MITTAUSJÄRJESTELMÄ	16
6.1 Suunnittelu	16
6.2 Arkkitehtuuri	18
6.2.1 Mittapää	19
6.2.2 Prosessori	19
6.2.3 Langaton tiedonsiirto	19
6.2.4 Ohjausyksikkö	20
6.2.5 Pilvipalvelu	21
6.3 Toimintaperiaate	22
6.4 Näyttö ja käyttöliittymä	23
7 POHDINTA	26
LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella arkkitehtuuri luokkahuoneeseen asennettavalle äänitason mittausjärjestelmälle, joka täyttää äänitason mittauksen vaatimat standardit. Järjestelmä varoittaa liiallisesta melusta ja kannustaa työskentelemään hiljempaa. Hyvä kuunteluympäristö on tärkeä sekä oppimisen että työssäjaksamisen kannalta, koska melulla on suuri vaikutus ihmisen kognitiiviseen oppimiseen ja terveyteen. Valitsin kyseisen aiheen tutkimukseni kohteeksi, koska kouluikäisellä lapsellani on kuulovamma ja hän käyttää kuulokojeita.

Hyvä kuunteluympäristö on todella tärkeä kuulokojetta käyttävälle, koska keino-
tekoisesti tuotettu äänimaailma ei vastaa normaalikuuloisen äänimaailmaa.

Kuulokojeilla kuuntelu on huomattavasti raskaampaa kuin ilman kuulokojeita, koska ne vahvistavat myös ei-toivottuja ääniä, kuten LVIS-laitteista aiheutuvaa taustakohinaa ja hälyä, joita normaalikuuloinen ei välttämättä edes huomaa.

Tämä ilmenee illasta lapsen ärtyisyytenä ja väsymyksenä. Hyvä kuunteluympäristö on myös opettajien näkökulmasta katsottuna tärkeä, koska opettajat työskentelevät jopa kymmeniä vuosia melulle alttiissa ympäristössä, jonka seurauksena melun terveysvaikutukset korostuvat.

2 TERMIEN MÄÄRITYKSIÄ

A-painotus

Taajuuspainotus erittäin suurien ja pienten taajuuksien vaimentamiselle. Vaimennuksessa käytetään SFS 2877/IEC 651 -standardin mukaisia suodattimia. Painotuksella pyritään jäljittelemään normaalikuuloisen ihmisen taajuusvastetta heikoilla äänillä lähellä kuulokynnystä. Merkitään dB(A). (1.)

C-painotus

Taajuuspainotusta käytetään impulsiivisen melun mittaamiseen. C-painotteisella suodattimella saadaan mitattua lyhytkestoiset korkeat äänet. Merkitään dB(C). (12.)

Äänenpainetaso L_p .

Äänenpainetason laskukaava, missä p on äänenpaineen tehollisarvo [Pa] ja p_0 on vertailuäänepaine 20μPa. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (Kaava 1.) (1.)

$$L_p = 10 \lg \left[\frac{p}{p_0} \right] \text{dB} \quad \text{KAAVA 1}$$

A-äänitaso $L_{p,A}$.

A-painotetun äänenpainetason laskukaava, missä p_A on A-painotetun äänenpaineen tehollisarvo [Pa] ja p_0 on vertailuäänepaine 20μPa. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (Kaava 2.) (1.)

$$L_{p,A} = 10 \lg \left[\frac{p_A}{p_0} \right]^2 \text{dB} \quad \text{KAAVA 2}$$

A-painotettu hetkellinen äänenpainetaso $L_{p,A,T}$. (9.)

Hetkellisen äänenpainetason laskukaava, missä $L_{p,A}$ on A-painotettu äänenpainetaso ja T on aika. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (9.)

Ekvivalentti A-painotettu äänitaso (keskiäänitaso) $L_{p,A,eqT}$. (9.)

Äänitason laskukaava, missä ajan T alkuhetki on t_1 ja loppuhetki t_2 . $p_A(t)$ on A-painotetun äänitason äänenpaineen hetkellisarvo $[Pa]$. Vertailuäänepaine on $p_0 = 20\mu Pa$. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (Kaava 3.) (9.)

$$L_{p,A,T} = L_{p,A,eqT} = 10 \lg \left[\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right] dB \quad \text{KAAVA 3}$$

Usean ajanjakson keskiäänitason laskennassa käytetään kaavaa 4, jotta saadaan kokonaisajan keskiäänitaso selville. M on ajanjaksojen lukumäärä. T_i on ajanjakson i kesto. T on kokonaisaika. L_{p,A,eqT_i} on ajanjakson keskiäänitaso. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (1.)

$$L_{p,A,eqT} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^M T_i 10^{\frac{L_{p,A,eqT_i}}{10}} \right] dB \quad \text{KAAVA 4}$$

A-painotetun äänenpainetason altistustaso normalisoituna 8 tunnin työpäivään. $L_{EX,8h}$. (9.)

Äänitason laskukaava, missä L_{p,A,eqT_e} = työpäivää vastaava A-painotettu jatkuva äänenpainetaso, T_e = todellinen altistusaika tunteina, $T_0 = 8h$ vertailuarvo. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (Kaava 5.) (9.)

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] dB \quad \text{KAAVA 5}$$

C-painotettu huippu äänenpainetaso $L_{p,Cpeak}$. (9.)

C-painotetun huippu äänenpainetason laskukaava missä $p_0 = 20\mu Pa$. Tulos ilmoitetaan desibeleinä. (Kaava 6.) (9.)

$$L_{p,Cpeak} = 10 \lg \frac{p_{Cpeak}^2}{p_0^2} dB \quad \text{KAAVA 6}$$

3 MELU JA MELUHAITAT

Melu on yksinkertaisuudessaan monen tai yhden melunlähteen aiheuttamaa epämiellyttävää äänivirtaa, joka välittyy ihmiseen kuuloaistin välityksellä. Melulla on kaksi tyypillistä ominaisuutta, voimakkuus ja taajuus. Melun voimakkuutta mitataan desibeleinä (dB) ja taajuutta hertseinä (Hz). Melu voidaan jakaa neljään päätyyppiin: ympäristömelu, taustamelu, impulssimelu ja kapeakaistainen melu. Ympäristömelu syntyy pääosin teollisuuslaitoksista ja liikenteestä. Taustamelun aiheuttavat yleensä tekniset laitteet, heikosti suunniteltu huoneiston akustiikka sekä äänieristys. Impulssimelu on iskumaista melua, jonka äänihuiput erottuvat selvästi ja kestävät pidempään kuin yhden sekunnin. Impulssimelun aiheuttaa yleensä iskut, laukaukset, räjähdykset tai suuret sähköpurkaukset. Kapeakaistainen melu on ääntä, jossa on selvästi kuultavissa olevia soivia ääniä esimerkiksi korkea vinkuna tai matala jyrinä. (1.)

Melulle altistuminen aiheuttaa ihmisille monenlaisia haittoja, jotka voivat esiintyä esimerkiksi terveyshaittoina ja oppimisen vaikeutena. Opetustiloissa melua syntyy ihmisistä. Alakouluissa ja esikouluissa tilankäyttäjät saavat aikaan huomattavan suuren melun pelkästään työskentelemällä tilassa. (2.)

3.1 Meluasetus

Melulle altistumisen ehkäisemiseksi ja meluhaittojen vähentämiseksi on määritetty meluasetus sosiaali- ja terveysministeriön esityksestä (85/2006). Asetuksen tarkoituksena on työntekijöiden suojeleminen vaaroilta ja haitoilta, jotka voivat aiheutua melulle altistumisen seurauksena. Meluasetusta sovelletaan työhön, johon sovelletaan työturvallisuuslakia (738/2002), ja jossa työntekijät voivat altistua työstä aiheutuvalle melulle. Melulle altistuminen jaetaan kolmeen ryhmään: äänen huippupaineeseen, päivittäiseen melulatistukseen ja viikoittaiseen melualtistukseen. (3.)

Äänen huippupainearvolla tarkoitetaan C-painotettua huippuarvoilmaisimen lukemaa. Huippupaineen alempi toiminta-arvo on 112 Pa ja ylempi toiminta-arvo 140 Pa. Äänen huippupaineen raja-arvo on 200 Pa. (3.)

Päivittäisellä meluallistuksella tarkoitetaan A-painotettua äänenpainetasoa, joka kahdeksan tunnin nimellisen työpäivän aikana antaa saman altistuksen kuin altistava melu, mukaan lukien impulssimelu. Kuulolle haitalliselle melulle on määriteltä toiminta- ja raja-arvot. Alemmalle toiminta-arvolle altistuminen vastaa altistumista melulle 8 tunnin työpäivän aikana niin paljon, että joutuu huutamaan kahden metrin päässä olevalle henkilölle, jotta tämä saisi sanoista selvää. Ylempää toiminta-arvoa vastaa, kun työolosuhteissa työpäivän aikana joutuu korottamaan ääntä, jotta metrin päässä oleva henkilö saisi sanoista selvää. Ylemmälle toiminta-arvolle altistuva saa todennäköisesti kuulovaurion pitkällä aikavälillä, jos ei käytä kuulosuojaimia. Päivittäisen meluallistuksen alempi toiminta-arvo on 80 dB ja ylempi toiminta-arvo 87 dB. Päivittäisen meluallistuksen raja-arvo on 87 dB. Raja-arvon ylittyessä on viipymättä lopetettava altistuminen ja varmistettava, ettei ylittyminen toistu. Raja-arvon ylittäminen voi vahingoittaa kuuloa. (3.)

Viikoittaisella meluallistuksella tarkoitetaan viiden työpäivän perusteella laskettua keskimääräistä päivittäistä meluallistusta. Melun vaihdellessa viikoittainen raja-arvo ei saa ylittää 87 dB. Asetus määrää myös, että työnantajan on selvitetävä työntekijän mahdollinen melulle altistuminen ja tunnistettava melua aiheuttavat tekijät. Lisäksi melulle altistuminen on arvioitava sekä tarvittaessa mitattava. Mittaustuloksessa on myös huomioitava mittauksen epätarkkuudet. Asetus sisältää kattavasti neuvoja arviointi- ja mittausmenetelmiin, riskien ja haittojen arviointiin sekä meluallistuksen ennaltaehkäisemiseen. Lisäksi se ohjaa ja opastaa ongelmatilanteissa sisältäen ohjeita, miten toimia raja-arvojen ylittyessä. (3.)

3.2 Melun haitat

Melu on haitallisinta ensisijaisesti kuulolle, mutta melulle altistumiseen liittyy paljon muitakin terveysriskejä. Melulle altistuminen voi aiheuttaa stressiä, sydän- ja verenkiertoelimien sairauksia, keskittymisvaikeutta, ärtyisyyttä, väsymystä ja pahimmassa tapauksessa melu voi aiheuttaa onnettomuuden. Melun haitta-asteeseen vaikuttaa äänen fysikaaliset ominaisuudet kuten voimakkuus, taajuus, kapeakaistaisuus ja impulssimaisuus. Lisäksi haitta-asteeseen vaikuttaa melulle

altistumisen aika ja paikka sekä henkilön meluherkkyys. Meluherkkyys on yksilöllinen jokaisella ihmisellä (4.)

3.2.1 Melun haitat oppilailla

Oppilailla, etenkin lapsilla, melulle altistuminen viivästyttää lapsen kognitiivista ja kielellistä kehitystä. Melu häiritsee puheen kuulemista ja ymmärrettävyyttä. Lapselle pitkäaikainen altistuminen melulle voi vaikeuttaa puheen ja äänteiden tunnistusta, vaikka melua ei enää olisikaan kuuntelutilanteessa. Aivojen kuullun käsittely muuttuu pitkäaikaisen melualtistumisen seurauksena, jolloin aivojen kehitys ja organisoituminen voi muuttua. Oppimisen kannalta tärkeimmät edellytykset on, että lapsi pystyy erottamaan, tunnistamaan, ymmärtämään ja itse tuottamaan puhetta tarkasti ja oikein. Lisäksi meluisassa ympäristössä keskittyminen vaikeutuu ja oppilas väsyä helpommin. Väsyminen ja uniongelmat aiheuttavat tarkkaavaisuuden heikentymistä ja vaikeuttavat asioiden muistamista, minkä seurauksena oppiminen heikentyy (kuva 1.) (5.)

3.2.2 Melun haitat opettajilla

Työntekijöillä melulle altistumisessa pätevät samat haitat kuin oppilailla. Aikuisilla terveysriskit ovat suuremmat (kuva 1). Stressiperäisten kroonisten sairauksien riski kasvaa ja voi altistaa verenpaine- ja sepelvaltimotaudille sekä sydäninfarktille. Melussa työskentely rasittaa myös ääntä. Kun ääntä joudutaan korottamaan, äänihuulet ja kurkunpää rasittuvat ja siitä seuraa erilaisia ääniongelmia. (5.) On tutkittu, että opettajien ääniongelmien voivat aiheuttaa opettajille itselleen psykologisia, sosiaalisia ja taloudellisia ongelmia. Lisäksi ongelmat voivat heijastua koko työyhteisöön ja lopulta jopa koko koulutusjärjestelmään. Opettajan puutteellinen äänenkäyttötapa voi heikentää opettajan ammatti-identiteetin ja itsetunnon kehitystä sekä vaikuttaa opettajan uskottavuuteen ja ihmissuhteisiin työyhteisössä. Hyvin toimiva ääni voi vastaavasti toimia opettajan voimavarana, mikä vahvistaa opettajan työkykyä, uskottavuutta ja itsetuntoa. (6.)

Ympäristömelun keskeisimmät vaikutukset terveyteen ja niiden kynnysarvot.

Vaikutus	Mittasuure ¹	Kynnystaso ²
Häiritsevyys	L_{den}	42 dB
Puheviestinnän häiriöt	L_{eq}	
lapset		35 dB
aikuiset		45 dB
Oppiminen, muisti	L_{eq}	50 dB
Vaikutukset uneen		
itse raportoitu unihäiriö	L_n	42 dB
polysomnografiassa todetut	$L_{max, sisällä}$	32 dB
raportoidut heräämiset	$SEL_{sisällä}$	53 dB
Kohonnut verenpaine	L_{den}	50 dB
Sepelvaltimotauti	L_{den}	60 dB

¹ L_{den} ja L_n on määritelty ulkona esiintyvänä äänitasoina. L_{max} voi olla mitattu joko ulkona tai sisällä.

² Taso, jonka yläpuolella vaikutus alkaa ilmetä tai ilmenee tavanomaista useammin.

L_{den} = päivä-ilta-yömelutaso (vuorokausimelutaso), pitkänajan keskiäänitaso, jossa vuorokausi jaetaan päivä-, ilta- ja yöaikaan, ja kaikille näille määritetään erikseen keskiäänitasot

L_{eq} = Keskiäänitaso

L_{max} = Mittausaikana vallinnut suurin äänitaso

L_n = Yöajan painottamaton keskiäänitaso, yömelutaso

SEL (Sound Exposure Level) = Yhden melutapahtuman aikainen äänialtistustaso

KUVA 1. Ympäristömelun keskeisimmät vaikutukset terveyteen ja niiden kynnysarvot (5)

4 KUUNTELUYMPÄRISTÖ

Ideaalinen kuunteluympäristö on esteetön. Esteettömyydellä tarkoitetaan sitä, että kuunteluympäristö on akustiikaltaan toimiva ja tilaan on asennettu jokin ääntentoisto-, äänensiirto- tai äänenkuuntelujärjestelmä. Normaalikuuloinen ihminen pystyy kuulemaan puhetta melko huonossa kuunteluympäristössä, mutta pienikin taustamelu haittaa huomattavasti kuulovammaista henkilöä. Parhaimmillaan akustiikka on silloin, kun se on suunniteltu tilan luonnetta ja käyttötarpeita ajatellen. (7, s. 22.)

4.1 Akustiikka ja kaikuisuus

Huonetiloissa kovat pintamateriaalit heijastavat voimakkaasti ääntä. Kovia pintamateriaaleja ovat esimerkiksi tiili, betoni, luonnonkivi ja sileät puupinnat. Kun tilassa on paljon heijastunutta ääntä suhteessa suoraan ääneen, tila on kaikuisa. Kaikuisuus on hyvä asia kirkoissa ja suurissa konserttisaleissa, mutta se ei sovi opetustilaan, jossa kommunikointi tapahtuu puheen välitykseltä. Puheen ymmärrettävyys kärsii, jos tilassa on liian suuri jälkikaiunta-aika. Muita kaikuilmiöitä ovat tärykaiku ja seisovat ääniaallot. Tärykaiussa sama ääni kuuluu tilassa monta kertaa. Tärykaiku muodostuu kahden tai useamman pinnan välillä useaan kertaan heijastuvasta äänestä. Seisovat ääniaallot muodostuvat äänen heijastuessa vastakkaisten pintojen välillä. Akustiikassa mitattavia suureita ovat jälkikaiunta-ajat T ja puheensiirtoindeksi STI . SFS 5907-standardi käsittää rakennusten akustisen luokituksen. Standardi sisältää ohjearvoja ja käsitteitä akustikasta ja jälkikaiunta-ajoista. Kaikuisuutta saadaan vähennettyä pehmeillä pintamateriaaleilla, kuten matoilla, verhoilla, seinätekstiileillä ja äänenvaimennukseen käytettävillä akustointilevyillä. (7, s. 151, 22, 23.)

4.2 Opetustilan kuunteluympäristö

Opetustilojen ääniolosuhteet otetaan yleensä hyvin huomioon opetustilojen akustiikan suunnittelussa. Akustiikan suunnittelussa päätavoitteena on luoda tila, jossa puheen erotettavuus on hyvä koko opetustilassa. Huoneakustiikan suunnitteluun vaikuttavat opetustilan huoneakustiset ominaisuudet sekä LVIS-

laitteiden ja ympäröivien tilojen aiheuttamat taustäänitasot. Opetustiloille suositeltavat jälkikaiunta-ajat ja puheensiirtoindeksi tasot löytyvät taulukosta SFS 5907-standardista (kuva. 2). Rakennusinsinöörien liitto on tehnyt ohjeistuksen opetustilojen akustisesta suunnittelusta. Hyvä akustiikka ei yksin takaa hyvää kuunteluympäristöä, vaan siihen vaikuttavat myös ympäristössä työskentelevät henkilöt. (8, s. 14.)

Suure	Luokat A ja B	Luokka C
Jälkikaiunta-aika T	0,5...0,6 s	0,6...0,8 s
Puheensiirtoindeksi STI	$\geq 0,80$	$\geq 0,70$
Puheensiirtoindeksi STI huonokuuloisille ja kielihäiriöisille tarkoitetussa opetustilassa	$\geq 0,85$	$\geq 0,75$

KUVA 2. Opetustiloille suositeltavat jälkikaiunta-ajat T ja puheensiirtoindeksi STI . SFS 5907 mukaan. (8, s. 18.)

5 TYÖPERÄISEN MELUN MITTAAMINEN

Työperäisen melun mittaukseen käytetään SFS ISO 9612 -standardia. Standardi sisältää ohjeistuksen työnkuvan analysoinnista, mittaustavan valinnasta, mittaustavan valinnasta, virheiden käsittelystä ja mittaustavavarmuuksien arvioinnista, laskemisesta sekä tulosten arvioinnista. Standardi määrittää kolme mittaustapaa: tehtävään perustuvan, työhön perustuvan ja koko päivään perustuvan mittauksen. Standardin tarkoituksena on auttaa oikean mittaustavan valitsemisessa sekä tulosten tarkastelussa. Standardi sisältää laskentataulukot tulosten laskemisen ja analysoinnin helpottamiseksi. Standardi on suunniteltu A-painotteisen äänitason mittaukseen, mutta se soveltuu myös C-painotteisen äänitason mittaukseen. (9.)

5.1 Mittausmenetelmä

Mittausmenetelmä on jaettu viiteen vaiheeseen, joita seuraamalla mittaus etenee loogisessa järjestyksessä: työn analysointi, mittaustavan valinta, mitaukset, virheiden käsittely ja epävarmuustekijät sekä tulosten ja epävarmuustekijöiden laskeminen ja esittely (9).

5.1.1 Työn analysointi

Työn analysoinnissa annetaan riittävän tarkka kuva työtehtävistä ja työntekijöistä, jotta voidaan valita oikea mittaustava sekä suunnitella mittaustapa. Työn analysointi voidaan jakaa seuraaviin asiakohtiin. (9.)

1. Kuvataan työpaikan toimintatapoja ja työtehtäviä.
2. Määritellään homogeeniset meluallistusrhyhmät, jos on tarpeellista.
Ryhmään kuuluvat kaikki työntekijät, joilla on samanlainen työnkuva.
Tällä toimintamallilla voidaan vähentää mittauksia.
3. Määritetään tavanomainen työpäivä tai työpäivät kullekin ryhmälle.
Sisältää taukojen ja työajan määrittämisen.
4. Tunnistetaan yksittäiset tehtävät, jotka muodostavat koko työpäivän.
Tehdään, jos on tarpeellista.
5. Tunnistetaan mahdolliset melua aiheuttavat tapahtumat.

6. Valitaan jokin kolmesta mittaussstrategiasta.
7. Laaditaan mittaussuunnitelma.

5.1.2 Mittausstrategian valinta

Mittausstrategiassa valitaan tehtävään, työhön tai koko päivään perustuva mittausstrategia. Strategian valinta on jaettu alla olevan mukaisesti. Yksityiskohtaiset valintaperusteet löytyvät SFS 9612 -standardista. (9.)

1. Tehtävään perustuvaa strategiaa käytetään, jos työpäivän aikana tehdään useita tehtäviä ja tehtävien äänenpainetasoja halutaan mitata erikseen.
2. Työhön perustuvaa strategiaa käytetään, jos halutaan ottaa satunnaisia äänenpainemittauksia työaikana.
3. Koko päivään perustuvaa strategiaa käytetään, jos halutaan mitata äänenpainetasoa koko työpäivän ajan.

5.1.3 Mittaukset

Yleisimmin käytetty mittausmenetelmä on A-painotettu jatkuva äänenpainetaso $L_{p,A,eqT}$. Lisäksi mitataan myös C-huippuäänepainetasoa $L_{p,Cpeak}$, mikäli se katsotaan olennaiseksi. (9.)

5.1.4 Virheiden käsittely ja epävarmuustekijät

Mittauksia vääristävät häiriöt ja epävarmuustekijät tulee huomioida ennen ja jälkeen mittauksen. Epävarmuustekijöitä voivat olla päivittäisen työn vaihtelu, mittarin käyttöolosuhteet, ääninäytteiden epäluotettavuus, mittarin huono kalibrointi, mikrofonin suuntaus, taustamelu, puutteellinen työn analysointi ja mittauksen aikana ilmenevät epätyypilliset äänet, kuten hälytysäänet. (9.)

5.1.5 Tulosten ja epävarmuustekijöiden laskeminen ja esittely

SFS ISO 9612 -standardin liitteessä C on määritelty yksityiskohtaisemmin jokaisen mittausstrategian laskemiseen tarvittavat huomiot epävarmuustekijöiden varalle (9).

Virallisessa mittausraportissa tulee olla kattavat tiedot mittaajasta, mittaustavasta, mittaustarkoituksesta, työanalyysistä, mittauksessa käytetystä laitteistosta sekä tulokset ja johtopäätökset koko mittaustapahtumasta. Mittaustulokset on esitettävä ennen ja jälkeen epävarmuustekijöiden huomioimista. (9.)

6 ÄÄNITASON MITTAUSJÄRJESTELMÄ

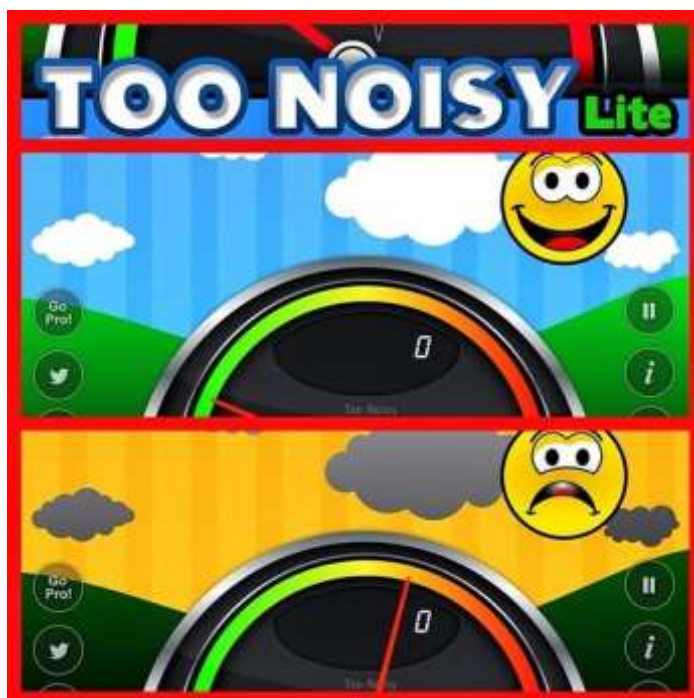
Suunnittelemani äänitason mittausjärjestelmä koostuu vähintään kahdesta mittapäästä, joista toinen mittaa A-painotteista jatkuvaa äänenpainetasoa ja toisen tehtävänä on mitata C-painotteista huippuäänepainetasoa. Luokkahuoneen koko vaikuttaa mittapäiden määrään. Mittapääät keräävät dataa melusta desibeleinä. Mittapäiden keräämä data välitetään langattoman tiedonsiirtoverkon välityksellä ohjausyksikölle. Ohjausyksikkö suorittaa tarvittavat laskutoimitukset ja hetkellisen äänitason ylittäessä raja-arvot, näyttö varoittaa liiallisesta melusta. Päivittäisestä melusta saatu standardin mukaisesti mitattu data välitetään pilvipalvelimeen, josta voidaan seurata melutasojen kehitystä pitemmällä aikavälillä. Kun jokaisessa luokkahuoneessa ja tilassa on vastaava järjestelmä, nähdään melutasot tiloittain oppilaitoskohtaisesti. Järjestelmällä saadaan oppilaiden ja opettajien todellinen melualtistus pitkällä aikavälillä.

6.1 Suunnittelu

Ajatus äänitason mittausjärjestelmästä syntyi opinnäytetyön ensimmäistä osaa tehdessä. Ensimmäisessä osassa tutkin saatavilla olevia kuulon apuvälineitä ja huomasin, että vastaavanlaista järjestelmää ei ole olemassa. Luokkahuoneen äänitason mittaukseen on olemassa monenlaisia sovelluksia älylaitteisiin, joissa on toimiva käyttöliittymä (kuva 3, kuva 4). Älylaite, kuten esimerkiksi tabletti, käyttää laitteen omaa mikrofonia, joka ei sovellu standardin mukaiseen äänitason mittaamiseen. Standardin mukaisia äänitasomittareita on useilla valmistajilla, mutta niitä ei ole yhdistetty hauskaan lapsia innostavaan käyttöliittymään. Suunnitelmassani nämä ominaisuudet yhdistetään ja lisäksi se tallentaa mittausdatan pilvipalveluun, josta äänitasojen kehitystä voidaan seurata. Arkkitehtuuri antaa vain raamit äänitason mittausjärjestelmälle, jota voidaan lähteä jatkokehittämään tulevaisuudessa.



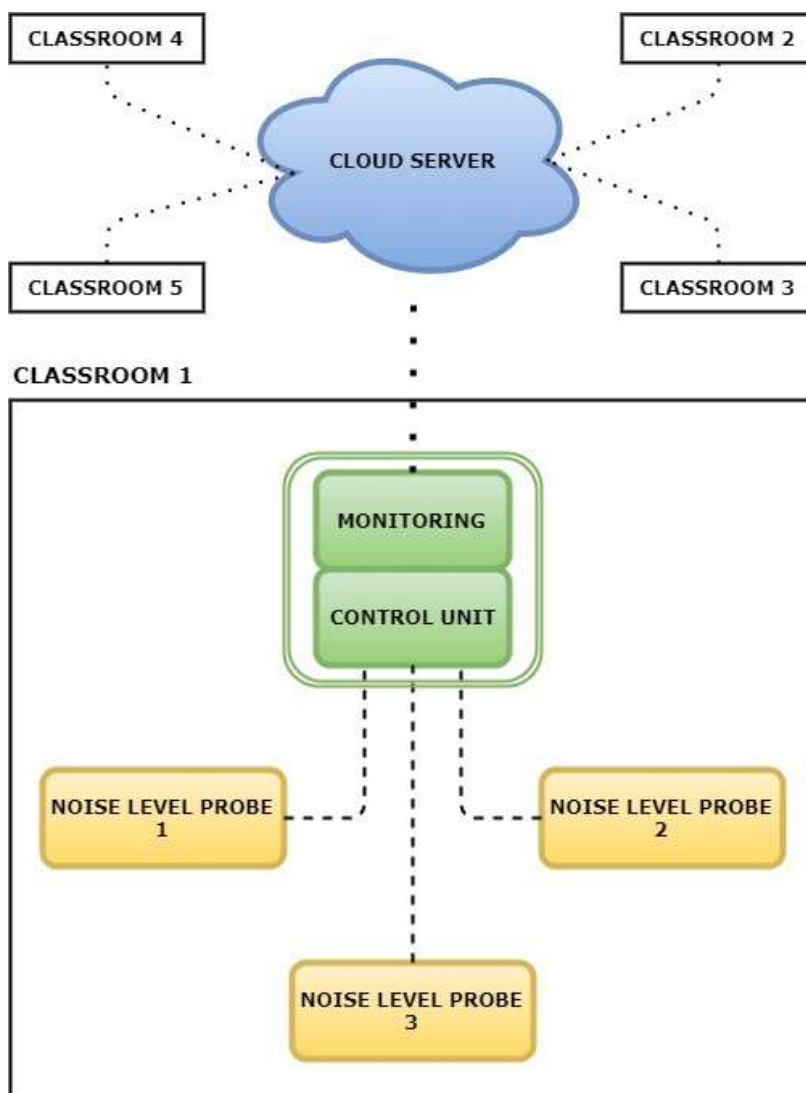
KUVA 3. Kuvankaappauskuva Noise Control -sovelluksesta. (14.)



KUVA 4. Kuvankaappauskuva Too Noisy -sovelluksesta. (15.)

6.2 Arkkitehtuuri

Arkkitehtuuri sisältää laitteiston pääkomponentit. Pääkomponentteja ovat mittapää(t), prosessori, radiolähetin, radiovastaanotin, ohjausyksikkö, näyttö ja pilvipalvelin (kuva 5). Mittapään, prosessorin ja radiolähetimen tulee olla samassa kotelossa, jotta koko paketti saadaan mahdollisimman huomaamattomaksi. Ohjausyksikkö ja sen radiovastaanotin ovat myös samassa kotelossa. Näyttö on sijoitettuna luokkatilaan keskeiselle paikalle, mistä se voidaan havaita helposti.



KUVA 5. Mittausjärjestelmän havainnekuva

6.2.1 Mittapää

Äänitason mittauksessa käytetyn mittapään eli äänitasomittarin tulee täyttää SFS 2877 / IEC 651 -ja IEC 804 -tarkkuusluokat. Tarkkuusluokat voidaan jakaa esimerkiksi neljään luokkaa oheisen taulukon mukaan (kuva 6). Tarkkuusluokista 1 ja 2 ovat yleisimmin käytettyjä. Luokkatilan melunmittaamiseen tulee käyttää luokan 1 tai 2 mittaria (10.)

tarkkuusluokka	nimi	tarkkuus
0	laboratorioreferenssi	± 1 dB
1	tarkkuusäänitasomittari	± 2 dB
2	äänitasomittari	± 3 dB
3	kartoitusluokan äänitasomittari	± 4 dB

KUVA 6. SFS 2877 / IEC 651 ja IEC 804 mukaiset äänitasomittarien tarkkuusluokat. (10.)

6.2.2 Prosessori

Prossessorin tehtävänä on kerätä mittapään dataa ja pakata se sopiviin datapaketteihin ohjausyksikölle lähetystä varten. Prosessori on integroitu mittapäiden kanssa samaan koteloon. Prosessori tulee mitoittaa siten, että se kykenee prosessoimaan käsiteltävän datan vaivattomasti ja tallentamaan dataa hetkellisesti muistiin. Prosessoria ei tule ylivoimistaa, jotta tehonkulutus pysyy kohtuullisena.

6.2.3 Langaton tiedonsiirto

Langaton tiedonsiirto voidaan hoitaa WiFin tai Bluetoothin välityksellä. Wifi on tiedonsiirtonopeuksiltaan ja kantamaltaan huomattavasti parempi vaihtoehto kuin Bluetooth. Bluetoothin etuna on vähäinen tehonkulutus verrattuna Wifiin

(kuva 7). Lähetettävän datapaketin koko ei tule olemaan kovin suuri, joten Bluetooth on varteenotettava vaihtoehto.

	Classic Bluetooth	Bluetooth LE	WiFi
Standards Body	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	WiFi Alliance
Network Standard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11n
Range	100m (330ft)	50m (160ft)	70-250m (230-820ft)
Frequency	2.4-2.5GHz	2.4-2.5GHz	2.4-5GHz
Over the air data rate	2.1 Mbps	1Mbps	Up to 600Mbps w 4x4 MIMO
App throughput	0.7-2.1Mbps	0.27 Mbps	Varies
Latency	100ms	6ms	<1ms
Peak current consumption	<30mA (Varies)	<15mA (read and transmit)	~50mA (Read) ~200mA (Transmit)

KUVA 7. Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy ja WiFin vertailua. (13.)

6.2.4 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkönä voisi toimia Raspberry Pi 3 Model B:n tapainen pieni korttitietokone, johon saa näytön kiinni ja jonka voi yhdistää verkkoon (kuva 8). Raspberry Pi 3 on pienikokoinen ja sisältää WLAN -ja Bluetooth Low Energy (LE) -yhteydet. Lisäksi Raspberryssä on riittävän tehokas prosessori ja riittävästi RAM-muistia (kuva 9). Raspberryssä on Linux-pohjainen Raspbian-käyttöliittymä, jolla on helppo hallinnoida laitetta ja asentaa siihen tarvittavia ohjelmia. (11.)



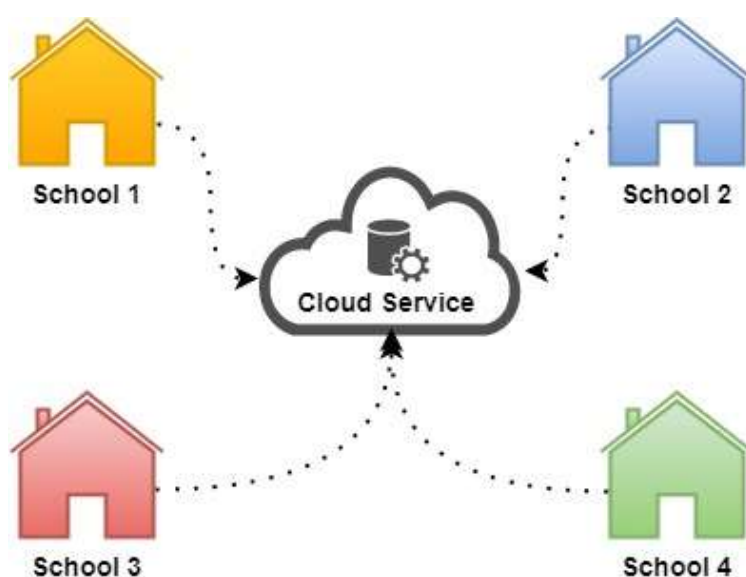
KUVA 8. Raspberry Pi 3 Model B (11.)

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 ports
- 4 Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

KUVA 9. Raspberry Pi 3 Model B tekniset ominaisuudet (11.)

6.2.5 Pilvipalvelu

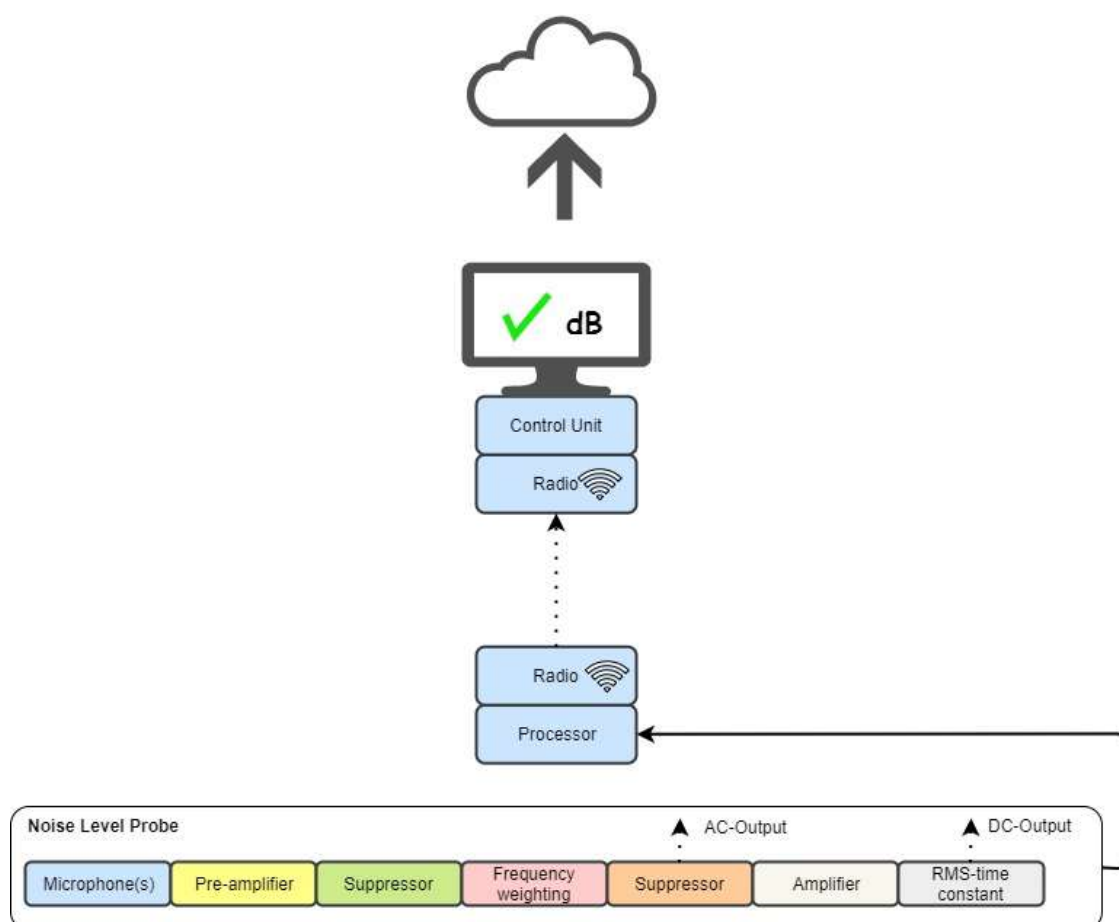
Pilvipalvelun tietokantaan tallennetaan kaikkien koulujen kaikkien luokkien melutasot (kuva 10). Pilvipalvelusta voidaan seurata äänitasojen kehitystä eri ajanjaksoilla ja vertailla kouluja keskenään. Pilvipalvelun tietojen perusteella pystytään arvioimaan, pitääkö koulussa parantaa akustiikkaa ja äänieristystä.



KUVA 10. Havainnekuva pilvipalvelusta

6.3 Toimintaperiaate

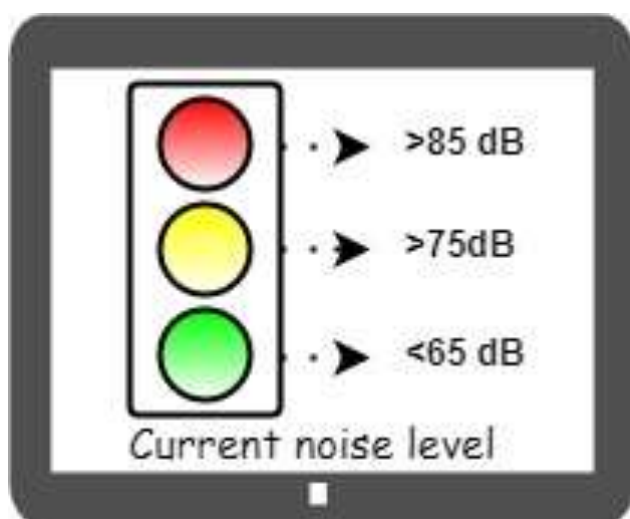
Mittapää koostuu mikrofonista, esivahvistimesta, vaimentimista, taajuuspainotussuodattimesta ja vahvistimesta. RMS aikavakio osion DC-ulostulosta saadaan eri aikapainotusten tehollisarvot. AC-ulostulosta saadaan mitattava signaali ulos. (10.) Signaali käsitellään prosessorissa lähetettävään muotoon. Vastaanotettuaan datan ohjausyksikkö tulkitsee sen ja välittää äänitasot käyttöliittymään, joka näyttää äänitason näytöllä. Samanaikaisesti ohjausyksikkö lähettää datan pilveen, josta voidaan seurata pitkäaikaista melutasoa (kuva 11).



KUVA 11. Lohkokaavio laitteiston toiminnasta

6.4 Näyttö ja käyttöliittymä

Käyttöliittymä voisi olla Linux pohjainen ohjelma, jossa on useita näkymiä. Ohjelmalla voisi säätää mittaus- ja käyttäjäasetukset tilan luonteen mukaan. Esimerkiksi musiikkiluokassa äänitasojen raja-arvot olisivat hieman koreammat ja lukutiloissa hieman matalammat. Käyttöliittymällä voisi olla erilaisia ohjelmia eri ikäisille lapsille. Alla on kuvattu havainnekuvia käyttöliittymän eri näkymistä. Ensimmäisessä näkymässä (kuva 12) on kuvattu hetkellinen melutaso. Vihreä valo palaa, kun melutaso on ihanteellinen. Kun melutaso nousee häiritsevälle tasolle, syttyy keltainen huomiovalo. Punaisen valon syttyttyä on melu jo niin häiritsevää, että se voi olla hyvinvoinnille haitallista ja siihen täytyy puuttua pikaisesti.



KUVA 12. Käyttöliittymän havainnekuva hetkellisen melutason näytöstä

Toisessa havainnekuvasa (kuva 13) on esitelty päivittäistä melualtistusta esittävä kuva. Kuvassa näkyy päivittäinen prosentuaalinen altistustaso. Kuvaajassa sadan prosentin taso saavutetaan, kun äänitaso on ollut ihanteellinen koko päivän. Melutason kasvaessa kuvaajan taso ja prosentit vähenevät.



KUVA 13. Käyttöliittymän havainnekuva päivittäisen altistustasosta 100 %, jos on pysytty alle päivittäisen altistustason.

Laitteisto ilmoittaa hymynaamalla (kuva 14), jos tavoite saavutettiin, tai surullisella naamalla (kuva 15), jos on parannettavaa. Lopullinen käyttöliittymä voisi olla pelimuotoinen, mikä kannustaisi etenkin pienempiä koululaisia tavoitteelliseen työskentelyyn.



KUVA 14. Käyttöliittymän havainnekuva, jos päästään tavoitteisiin.



KUVA 15. Käyttöliittymän havainnekuva, jos tavoitteisiin ei päästä.

Lopullinen käyttöliittymä voisi olla olemassa oleva ohjelma tai itse suunniteltu käyttöliittymä. Hyvä käyttöliittymä on suunniteltu käytettävyyden ja grafiikan kannalta miellyttäväksi. Käyttöliittymä vaatii osaamista käytettävyys ja käyttöliittymäsuunnittelusta sekä graafista suunnittelua.

7 POHDINTA

Äänitason mittausjärjestelmä olisi hyvä olla jokaisessa koululuokassa etenkin ala- ja yläkouluissa, missä melua on paljon. Mittausjärjestelmä antaisi kuvan päivittäisestä meluallistuksesta ja se helpottaisi tunnistamaan ongelmalliset tilat. Meluisien tilojen akustiikkaa voitaisiin parantaa, jos järjestelmällä ei muulla tavoin pystytä vaikuttamaan meluun. Äänitason mittausjärjestelmää voisi hyödyntää päiväkodeissa, missä meluongelma on yleinen. Pienten lasten (0–2 vuotiaiden) ryhmissä äänitason mittausjärjestelmästä tuskin olisi suurta hyötyä melun hillitsemiseen, mutta äänitasojen seurantaan se olisi hyvä. 3–6 vuotiaat lapset voisi kohtalaisen helposti ehdollistaa mittalaitteelle, jos käyttöliittymä on kiinnostava. Koulumaailmassa voitaisiin kauden hiljaisiin luokkia palkita mukavalla palkinnolla. Melu on valtakunnallinen terveysongelma työssäjaksamisen kannalta. Melun hillitseminen on yksi askel kohti parempaa työviihtyvyyttä ja uskoisin kyseiselle järjestelmälle olevan käyttöä, jos se osoitetaan toimivaksi ja käyttökustannuksiltaan edulliseksi. Arkkitehtuuri antaa kuvan tarvittavista komponenteista ja laitteen toiminnasta. Jatkokehitys vaatii syvempää tutkimusta mittalaitteistosta ja mittaustapahtumasta. Lisäksi melunmittauksesta tarvitaan testimittauksia, joiden perusteella voidaan suunnitella käyttöliittymää, mittapäiden sijoittelua ja lukumäärää.

LÄHTEET

1. Ohje 1/1995. 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42692/Ymp%C3%A4rist%C3%B6melun%20mittaaminen.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 20.11.2017.
2. Melu. 2016. Valvira. Saatavissa: <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/melu>. Hakupäivä 9.11.2017.
3. A85/2006. 2006. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060085>. Hakupäivä 9.11.2017.
4. Melu. 2017. Terveiden ja Hyvinvoinninlaitos. Saatavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu>. Hakupäivä 9.11.2017.
5. Heinonen-Guzejev, Marja – Jauhiainen, tapani – Sala, Eeva – Ström, Ulla – Vuorinen, Heikki. Melulla on monia vaikutuksia terveyteen. Suomen Lääkärilehti vol.67, nro36.S. 2445-2450. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/249765173_Melulla_on_monia_vaikutuksia_terveyteen Hakupäivä 10.11.2017.
6. Ilomäki Irma. 2008. Opettajien ääneen liittyvä työhyvinvointi ja äänikoulutuksen vaikutukset. Akateeminen väitöskirja. Tampere. Tampereen yliopisto, Puheopin laitos. Saatavissa: <https://tam-pub.uta.fi/bitstream/handle/10024/66411/978-951-44-7553-5.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 13.11.2017.
7. Ruskovaara, Anna – Rissanen, Hanna-Leena – Rasa, Jukka – Sepälä, Juha – Laakso, Jukka. 2009 Kuunteluympäristö. Rakennetun ympäristön esteettömyyskartoitus. Helsinki. Invalidiliitto.
8. RIL 243-2-2007. 2007. Opetustilojen akustinen suunnittelu. Rakennusten akustinen suunnittelu. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
9. SFS ISO 9612:2009. 2009. Acoustics. Determination of occupational noise exposure - Engineering method. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

10. Korkiakoski Esa. 2009 Savonlinnan aikuisopiston poltto- ja plasma-leikkauslaitteiston kehittäminen. Opinnäytetyö. Mikkeli. Mikkelin Ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7423/Korkiakoski_Esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 16.11.2017.
11. Specifications. Raspberrypi.org. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. Hakupäivä 17.11.2017.
12. Lisätietoa kuulon suojauksesta. Zekler. Saatavissa: <http://www.zekler.com/fi/info/horselskydd/merom.html>. Hakupäivä 20.11.2017.
13. Quick Thoughts: For Payments, Bluetooth Puts a Beat Down on NFC and WiFi. 2013. ssrllc.com. Saatavissa: <http://ssrllc.com/quick-thoughts-for-payments-bluetooth-puts-a-beat-down-on-nfc-and-wifi/>. Hakupäivä 23.11.2017.
14. Noise Control. 2016. itunes.apple.com. Saatavissa: <https://itunes.apple.com/app/noise-control/id302530434>. Hakupäivä 8.12.2017.
15. Apps for classroom management. 2014. allstudentscanshine.com. Saatavissa: <http://www.allstudentscanshine.com/2014/04/apps-for-classroom-management.html>. Hakupäivä 8.12.2017.